

ПРОГНОЗУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ ТРУБОПРОВІДІВ У РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТІВ

Аналіз проблеми впливу змінного струму на трубопроводи дає змогу зробити висновки про те, що цей процес вивчено частково. Актуальним і найбільш надійним способом детального вивчення електрокорозії змінним струмом трубопроводів у ґрунтових умовах є використання комплексного підходу, що базується на аналітичному вирішенні цієї проблеми та проведенні експериментальних досліджень. Визначено рівень впливу основних фізичних факторів, таких як наведена напруга, електричний опір ґрунтового електроліту – на величину густини змінного струму та залежність зростання її значення від площі дефекту у захисному покритті.

Ключові слова: напруга змінного струму, густина змінного струму, корозія, діаметр дефекту, опір середовища, джерела змінного струму.

Вступ. Внаслідок експлуатації нафтогазопроводів України понад 25 років зростає ризик розвитку аварійно-небезпечних дефектів на трубопроводі, що негативно впливає на екологічну безпеку експлуатації трубопроводів. Це істотно підвищує екологічні ризики подальшої експлуатації таких конструкцій та актуалізує проблему оцінювання їхнього залишкового ресурсу.

Багато публікацій зарубіжних учених стосується такого виду корозії трубопроводів як корозія змінним струмом. Зокрема в [1] визнано, що корозія металевих матеріалів у металоконструкцій, таких як трубопроводи, є наслідком дії наведеного змінного струму від джерел, які розташовані в безпосередній близькості від них. Внаслідок зростання потреб як населення, так і промисловості у природному газі та збільшення темпів споживання електроенергії не завжди є змога розмежувати коридори паралельного пролягання джерел змінного струму і трубопроводів чи витримати відстань, визначену нормативними документами. Величина наведеного на трубопровід струму буде залежати від факторів, враховуючи опір ґрунту, сольовий склад ґрунту, формування захисної плівки навколо дефекту, матеріал трубопроводу, матеріал захисного покриття та його опір, розмір і геометрію дефекту в ізоляційному покритті, відстань від джерела змінного струму до трубопроводу тощо.

У разі, коли ізоляційне покриття трубопроводу має дефекти малого розміру, навіть за наявності катодного захисту, корозія трубопроводів змінним струмом може спричинити серйозні ризики [2]. Відповідно до [3], змінну напругу (U_{zc}) вважають найбільш важливим параметром оцінювання ризику корозії. З метою зниження ймовірності корозії під дією змінного струму, U_{zc} трубопроводу не має перевищувати в будь-який момент:

- 10 V, де місцевий опір ґрунту більший ніж 25 Ом;
- 4 V, де місцевий опір ґрунту нижчий ніж 25 Ом.

Точнішим показником оцінювання ризику корозії змінним є густина змінного струму, який розраховують за формулою

$$J_{zc} = \frac{U_{zc}}{R \cdot S}, \quad (1)$$

де: S – площа поверхні дефекту в захисному покритті, м²; R – опір поширення струму в дефекті, Ом.

Опір поширення струму в дефекті виражається формулою

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot d}, \quad (2)$$

де d – діаметр дефекту в захисній ізоляції, м; ρ – електричний опір ґрунту, Ом·м. З формул (1) і (2) густина струму на дефекті виражається формулою

$$J_{zc} = \frac{2,548 \cdot U_{zc}}{\rho \cdot d}. \quad (3)$$

За наявності у ґрунтах сильних електролітів, розчинних у водному середовищі, провідність ґрунтів збільшується, що сприяє зменшенню питомого опору та зростанню густини струму на дефекті.

Аналіз рівня впливу основних фізичних факторів, таких як наведена напруга, електричний опір ґрунтового електроліту – на величину густини змінного струму через можливий дефект у захисному покритті дає змогу визначити найнебезпечніші області, де ймовірність корозії буде найвищою. Необхідно зазначити, що згідно з українськими нормативними документами, критичне значення густини струму є в межах 10 А/м². Припускають, що нижче цього значення ймовірність корозії, зумовленої змінним струмом, прямує до нуля. Використовуючи отримане за формулою (3) значення густини струму, можна виділити на карті ґрунтів ділянки потенційно небезпечні в плані можливих корозійних пошкоджень як для наявних трубопроводів, так для трубопроводів на стадії проектування. Вирішення задачі, пов'язаної з визначенням таких зон та з включенням трубопроводів у план першочергових обстежень, є важливим науково-практичним завданням, що допоможе запобігти виникненню аварійних ситуацій на трубопроводі та підвищить рівень екологічної безпеки експлуатації трубопроводу.

Матеріали та методи. Методика розрахунку полягає у визначенні густини струму на дефекті покриття круглої форми, оскільки за результатами обстежень, найчастіше трапляються дефекти захисного покриття круглої форми або проколи діаметром 0,005 м. У нормативній документації площа стандартного дефекту в ізоляційному покритті дорівнює 6,25·10⁻⁴ м² ($d = 0,0282$ м), у зарубіжних стандартах площу дефекту прийнято 1·10⁻⁴ м² ($d = 0,0112$ м). Для встановлення взаємозв'язку між рівнем U_{zc} , розміром дефекту та густиною наведеного струму виконано відповідні розрахунки. Діапазон U_{zc} вибрано в межах від 1 до 120 В (1, 5, 10, 15, 20 і далі з кроком 10 В), а розміри дефектів вибрано такі: 0,005; 0,011287; 0,02; 0,0282; 0,05 та 0,1 м.

Результати. Розраховано рівні густини наведеного струму у ґрунтах, що характеризуються високою корозійною активністю та, відповідно, низьким питомим опором (рис. 1; а, б). Аналогічним чином розраховано рівні густини у ґрунтах зі середньою корозійною активністю (рис. 2; а, б) та низькою корозійною активністю (рис. 3; а, б). На основі отриманих розрахункових даних побудовано графічні залежності.

¹ Наук. керівник: проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук

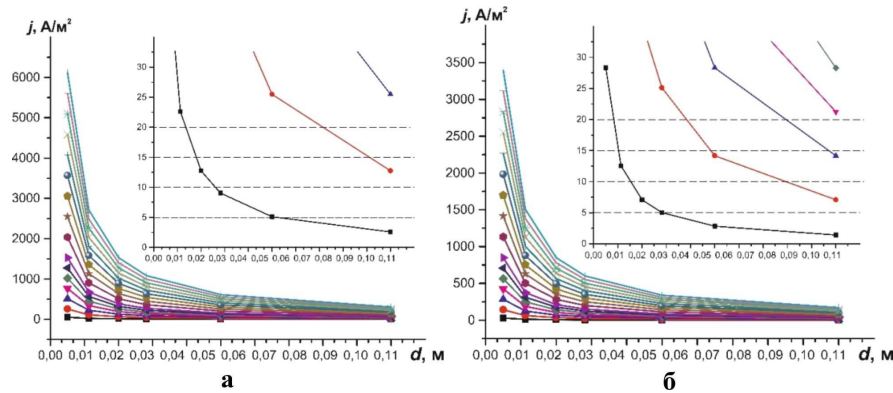


Рис. 1. Залежність густини змінного струму від діаметра дефекту в захисному покритті у ґрунтах високої корозійної активності за опору ґрунту 10 Ом·м (а), 18 Ом·м (б)

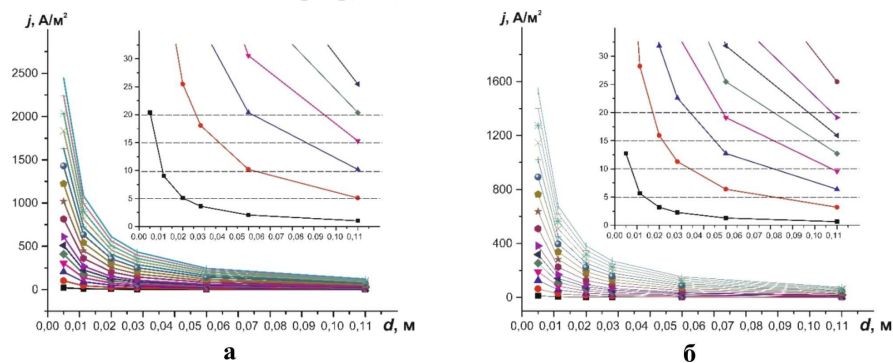


Рис. 2. Залежність густини змінного струму від діаметра дефекту в захисному покритті у ґрунтах середньої корозійної активності за опору ґрунту 25 Ом·м (а), 40 Ом·м (б)

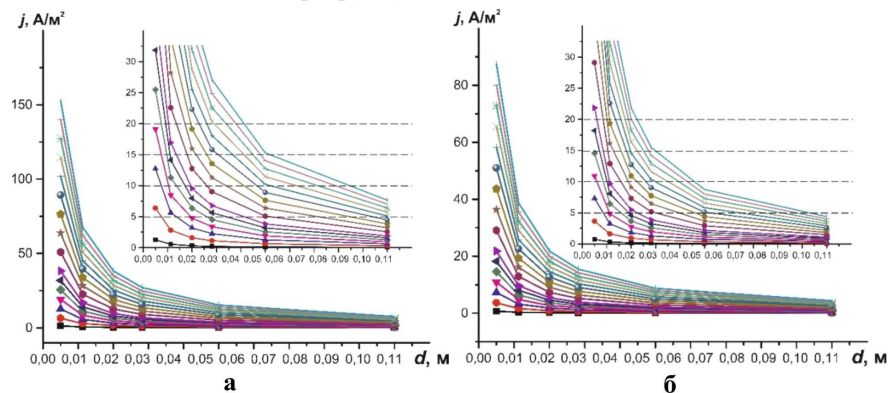


Рис. 3. Залежність густини змінного струму від діаметра дефекту в захисному покритті у ґрунтах низької корозійної активності за опору ґрунту 400 Ом·м (а), 700 Ом·м (б)

Обговорення результатів. Результати аналізу отриманих графічних залежностей свідчать, що в ґрунтах, для яких характерною є висока корозійна активність за малого діаметра дефекту захисного ізоляційного покриття відбувається різке зростання густини струму навіть за малих значень наведеної напруги $U_{зм}$. Якщо врахувати, що для таких ґрунтів як глинисті ґрунти і чорноземи вологість є практично сталою, а також взявши до уваги їх значну поширеність на території України, можемо констатувати високу ймовірність корозії змінним струмом у таких ґрунтах.

Нормативне значення густини струму 10 A/m^2 за $U_{zc} 1 \div 5 \text{ В}$ та опору ґрунту $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ фіксується для дефектів діаметром меншим за $0,1 \text{ м}$. Для дефектів меншого розміру в цьому інтервалі значень наведеної напруги густина струму є вдвічі, а то і втричі, більшою за нормативно допустиму. Крім цього, варто зазначити, що результати дослідження [4] показали приріст швидкості від 9 до 22 % у модельних середовищах, що імітують склад ґрунтового електроліту навіть за значення густини струму вдвічі меншої за нормативну 5 A/m^2 .

За допомогою винесеного із загального графіка збільшеного фрагмента можна визначити "безпечний" розмір дефекту для діапазону нормативних значень густини струму (горизонтальними пунктирними лініями відмежовано безпечну зону для кожного значення, яка знаходиться під пунктирною лінією). За електричного опору ґрунту $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (див. рис. 1, а) у цій області знаходяться значення, отримані для дефектів діаметром більшим за $0,1 \text{ м}$ за малих значень напруги. Точка перетину горизонтальної пунктирної лінії з кривою густини струму визначає критичне значення наведеної напруги за певної густини струму. Область над горизонтальною пунктирною лінією є критичною зоною, в якій корозійна небезпека прямо пропорційно зростає із зменшенням розміру дефекту та збільшенням наведеної напруги на трубопроводі.

Діапазон розрахункових значень, що становлять безпечну зону в ґрунтах з високою корозійною активністю (див. рис. 1, а), є надзвичайно вузьким. Це свідчить про те, що навіть за густини струму 5 A/m^2 за розмірів дефектів у захисному покритті менших ніж 10 см ($0,1 \text{ м}$) ймовірність корозії є високою, а критична напруга за $d = 0,058 \text{ м}$ становить $1,6 \text{ В}$. За густини змінного струму 10 A/m^2 (нормативне значення) критичне значення наведеної напруги становить $1,05 \text{ В}$ для дефектів розміром $0,027 \text{ м}$. За опору ґрунту $18 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (див. рис. 1, б) в область безпечної зони потрапляють дефекти розміром $0,06 \text{ м}$. Величина критичного значення наведеної напруги за 5 A/m^2 для дефектів розміром $0,028 \text{ м}$ становить приблизно 1 В .

Під час визначення ймовірності перебігу корозійних процесів під впливом змінного струму в ґрунтах зі середньою корозійною активністю за значення питомого опору ґрунту 25 і $40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ спостерігається аналогічна до попередньої тенденція, пов'язана зі зменшенням густини струму залежно від розміру дефекту захисного покриття (див. рис. 2; а, б). Згідно з [3] наведена напруга 4 В є безпечною в корозійному плані, якщо опір ґрунту становить $25 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. За значень напруги, які використано для розрахунків, така напруга може призвести до виникнення корозійних пошкоджень та утворення наскрізних корозійних уражень, особливо в разі експлуатації трубопроводів без катодного захисту.

Значення густини 10 A/m^2 фіксується за наведеної напруги в межах від 1 до 5 В на всіх дефектах, крім найменшого діаметром 0,005 м. Зниженню швидкості корозії під дією змінного струму на дефектах малих розмірів може сприяти нагромадження продуктів корозії, які формують захисний шар, тип самим сповільнюючи доступ кисню та перебіг реакцій у катодний півперіод змінного струму. Зі зростанням електричного опору ґрунту простежується помітна залежність між розміром дефекту покриття і величиною наведеної напруги.

Для того, щоб досягнути критичних значень густини струму на дефектах більшого розміру, рівень наведеної напруги має бути більшим як в ґрунтах з високою корозійною активністю. Безпечна зона за опору ґрунту $25 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ розширюється саме завдяки значенням, отриманих за наведеної напруги 1 В за $d = 0,028; 0,05; 0,1 \text{ м}$. Якщо опір ґрунту становить $40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (див. рис. 2, б), у цей діапазон потрапляє значення, отримане на дефектах розміром 0,1 м за наведеної напруги 5 В.

Середовища, з показником швидкості корозії $0,01 \text{ мм/рік}$, вважають найбільш безпечними у корозійному плані. Та за сукупності певних чинників швидкість корозії може значно зрости, а наслідки з причини непередбачуваності можуть в десятки і сотні разів перевищити прогнозовані для середовищ з високою корозійною активністю. Зокрема, це підтверджують розрахункові дані, отримані під час визначення густини струму для ґрунтів з питомим опором $400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ та $700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ за різних значень наведеної напруги (див. рис. 3; а, б).

Ґрунтами з найбільшим значенням питомого опору є супіски та піски, які трапляються в лісостеповій зоні та зоні мішаних лісів України. Вважають, що середовища з високим електричним опором ґрунту мають найнижчу схильність до перебігу корозійних процесів. Та внаслідок періодичного підвищення рівня вологості та за наявності сильних електролітів у ґрунтового масиві провідність середовища може збільшуватися, а опір буде відповідно зменшуватися. Небезпечні значення густини струму (152 A/m^2) за наведеної напруги 120 В зафіксовано за опору $400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на дефектах малого діаметра. Така напруга може індукуватися на трубопроводах при паралельному проляганні їх з високовольними лініями електропередач на довгих дистанціях. Крім цього, найбільша небезпека натикання наведеної напруги на підземні конструкції спостерігається у місцях провисання електричних дротів, тобто у середній частині прольоту [5]. Нормативне значення 10 A/m^2 на дефектах розміром 0,005 м фіксується за $U_{\text{зм}} 1\div 10 \text{ В}$, а також на дефектах діаметром 0,01 м; 0,0112 м; 0,02 м; 0,0282 м; 0,05 м. У разі збільшення розміру дефекту (0,1 м) гранично допустиме значення густини струму може виникати за 120 В. Така тенденція є свідченням того, що в разі корозії змінним струмом розмір дефекту є чинником, який потрібно враховувати у розрахунку ймовірності корозії під дією змінного струму.

Порівняно з ґрунтами високої і середньої корозійної активності, безпечна зона за опору ґрунту, що характерний для ґрунтів з низькою корозійною активністю, є найширшою (див. рис. 3; а, б). Для таких ґрунтів, крім розміру дефекту, важливим є і рівень наведеної напруги, оскільки в зоні безпеки знаходяться усі значення за $d = 0,1 \text{ м}$ навіть за наведеної напруги 120 В. Густина змінного струму 5 A/m^2 взагалі є нехарактерною для таких ґрунтів за значень наведеної напруги нижчої за 120 В.

Висновки:

1. Визначено основні фізичні фактори, які впливають на показник густини змінного струму та визначають ймовірність корозії змінним струмом на трубопроводах, що розміщені паралельно чи перетинаються з джерелами змінного струму.
2. Виявлено закономірності зростання рівня густини змінного струму у ґрунтах з низьким, середнім та високим значенням корозійної активності.
3. Встановлено взаємозв'язок між площею дефекту в захисному покритті та величиною густини струму в діапазоні значень наведеної напруги.
4. За постійних густини струму та опору ґрунту дефекти малого розміру піддаються корозійному руйнуванню швидше, ніж дефекти великої площі, оскільки густина струму на меншому дефекті буде зростати.
5. Чим менший дефект у захисному покритті, тим більшою є ймовірність перебігу корозії змінним струмом. Для дефектів великого розміру більш характерною є ґрунтова корозія.

Література

1. Goidanich S. Influence of AC on corrosion kinetics for carbon steel, zinc and copper / S. Goidanich, L. Lazzari, M. Ormellesse // In: Corrosion 2005. NACE, Paper No. 05189, Houston. 2005. – Pp. 135-147.
2. CEN/TS 15280, "Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines – Application to cathodically protected pipelines", Technical Specification, CEN – European Committee for Standardization. – 2006.
3. NACE SP0177, "Mitigation of alternating current and lightning effects on metallic structures and corrosion control systems", NACE International Standard Practice. – 2007.
4. Побережний Л.Я. Вплив змінного струму на швидкість зовнішньої корозії матеріалу трубопроводу та локалізацію корозійних процесів у хлоридних середовищах / Л.Я. Побережний, Г.М. Присліпська // Вісник НЛТУ : зб. наук. праць. – Тернопіль : Вид-во НЛТУ ім. Івана Пулюя. – 2013. – № 3. – С. 123-129.
5. Захаров Д.Б., Об оценке коррозионного воздействия ЛЭП на подземный трубопровод при их пересечении / Д.Б. Захаров, П.А. Яблучанский, А.В. Титов // Территория нефтегаз : сб. науч. тр. – 2013. – № 12. – С. 68-74.

Присліпська Г.М. Прогнозирование вероятности электрокоррозии трубопроводов в различных типах грунтов

Анализ проблемы влияния переменного тока на трубопроводы позволяет сделать выводы о том, что этот процесс изучен частично. Актуальным и наиболее надежным способом детального изучения электрокоррозии трубопроводов переменным током в грунтовых условиях является использование комплексного подхода, основанного на аналитическом решении данной проблемы и проведении экспериментальных исследований. Определен уровень влияния основных физических факторов, таких как приведенное напряжение, электрическое сопротивление почвенного электролита – на величину плотности переменного тока и зависимость роста ее значения от площади дефекта в защитном покрытии.

Ключевые слова: напряжение переменного тока, плотность переменного тока, коррозия, диаметр дефекта, сопротивление среды, источники переменного тока.

Pruslipka G.M. Prediction of Probability of Pipelines Electric Corrosion in Various Types of Soil

Analysis of AC impact on pipelines allows concluding that this process is not understood enough. The topical and most reliable way of detailed study of AC electric corrosion of pipelines in soil conditions is to use an integrated approach, based on the analytical solution of the problem and conducting experimental studies. The article defines the level of influence of basic physical factors such as provided voltage, the electrical resistance of the soil electrolyte. The value of density AC and dependence increase its importance on the area of the defect in the protective coating.

Keywords: AC voltages, alternating current density, corrosion, defect diameter, resistance environment, AC power.